亚油酸对5~16周龄肉鹅生长性能、屠宰性能、肌肉品质和营养物质利用率的影响[1]

张洋洋　王宝维*　葛文华　张名爱　岳　斌　郑惠文　任　民　张泽楠

（青岛农业大学优质水禽研究所，国家水禽产业技术体系营养与饲料功能研究室，青岛 266109)

摘　要：本试验旨在研究亚油酸对5~16周龄肉鹅生长性能、屠宰性能、肌肉品质和营养物质利用率的影响，以确定饲粮亚油酸的适宜水平。试验选用5周龄五龙鹅360只，随机分为6组，每组6个重复，每个重复10只（公母各占1/2）。6组（Ⅰ~Ⅵ组，Ⅰ组为对照组）饲粮中亚油酸水平分别为0.52%、0.72%、0.92%、1.12%、1.32%、1.52%。试验期12周。结果表明：1）Ⅲ、Ⅳ组体重、平均日增重显著或极显著高于对照组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)，料重比（F/G）显著低于对照组($P<0.05$)。2）采用不相关比较法进行分析，饲粮中亚油酸水平为1.09%时屠宰率最高。Ⅳ、Ⅴ组胸肌率显著高于对照组($P<0.05$)，Ⅲ、Ⅳ组腹脂率显著或极显著低于对照组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。3）Ⅲ~Ⅵ组肌肉亮度（L^*）值显著或极显著高于对照组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)；Ⅳ组肌肉红度（a^*）值极显著高于对照组($P<0.01$)，失水率和剪切力显著或极显著低于对照组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)；Ⅳ~Ⅵ组pH显著高于对照组($P<0.05$)。4）Ⅳ组粗蛋白质、粗脂肪和钙的利用率极显著高于对照组($P<0.01$)。Ⅱ~Ⅵ组磷利用率显著高于对照组($P<0.05$)。Ⅲ~Ⅵ组粪便氮排泄量显著或极显著低于对照组($P<0.01$)，沉积氮和氮的利用率显著或极显著高于对照组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。由此可见，饲粮中适宜水平的亚油酸能够提高5~16周龄肉鹅的生长性能、屠宰性能、肌肉品质和营养物质利用率，并降低腹脂率。5~16周龄肉鹅饲粮中亚油酸的适宜水平为0.92%~1.12%。

关键词：亚油酸；鹅；生长性能；屠宰性能；肌肉品质；营养物质利用率

中图分类号：S835　　　　文献标识码：　　　　　文章编号：

亚油酸（linoleic acid）属于多不饱和脂肪酸（PUFA）家族中n-6系列，因其对机体正常机能和健康具有重要的保护作用，且必须由膳食提供，因此被称为必需脂肪酸，是最早被确认的必需脂肪酸和重要的PUFA[1]。亚油酸作为n-6系列PUFA的原始成员，它可以在体内转化为多种、且在人体生理活动中起着重要作用的PUFA。n-6系列PUFA对高等哺乳动物和

收稿日期：2016-04-15
基金项目：国家水禽产业技术体系专项基金(CARS-43-11)；山东省良种工程（12-1-3-17-nsh）
作者简介：张洋洋(1990-)，女，山东滨州人，硕士研究生，研究方向为动物营养与保健。E-mail: 898857155@qq.com
*通信作者：王宝维，教授，硕士生导师，E-mail: wangbw@qau.edu.cn

禽最为重要，然而对大多数动物来说，在动物营养中 PUFA 通常只考虑亚油酸[2]。Balnave[3]研究发现，雏鸡缺乏亚油酸时，生长迟缓，饮水量增加，对疾病的抵抗力降低，同时伴随肝脏脂肪含量提高而体积增大，许多组织中二十碳三烯酸的含量升高，亚油酸和花生四烯酸含量降低；公鸡睾丸变小，第二性征发育迟缓。Watkins[4]认为，亚油酸缺乏可引起家禽繁殖障碍，并且对传染病的敏感性提高，可能与有害类二十烷的增多有关。Menge[5]对蛋鸡饲喂以葡萄糖、大豆浓缩蛋白等为原料的饲粮 32 周，亚油酸含量为 2%时，母鸡达到最大产蛋量。王宝维等[6]在基础饲粮不变的情况下，加入含亚油酸丰富的红花籽油 2%、4%、6%，改善了鸡的生理状态和产蛋性能。迄今为止，关于家禽亚油酸添加水平的研究主要集中在蛋鸡产蛋性能上，国内外对鹅的亚油酸需要量的研究报道很少，所以 NRC(1994)[7]仍然是鹅饲粮添加亚油酸最权威的参考标准。NRC(1994)[7]建议 1～4 周龄鹅亚油酸需要量为 1%，4 周龄以后为 0.8%。NRC(1994)[7]提出的亚油酸需要量接近防止临床出现典型缺乏症的最低需要量，其推荐的亚油酸需要量虽能让鹅表现正常，但生长性能可能达不到最佳水平，尤其是在商业生产条件下。NRC(1994)[7]提供的亚油酸需要量是否满足鹅的生长，目前相关数据库还处于空白，需要我们进一步研究。为此，本试验以 5～16 周龄五龙鹅（豁眼鹅）为研究对象，通过研究饲粮中不同亚油酸水平对其生长性能、屠宰性能、肌肉品质、营养物质利用率的影响，旨在确定 5～16 周龄五龙鹅饲粮亚油酸的适宜水平，为我国肉鹅营养标准数据库提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验设计

选择 5 周龄健康且体重大小基本一致的五龙鹅 360 只，采用随机分配编号法分为 6 组，每组 6 个重复，每个重复 10 只（公母各占 1/2）。Ⅰ组为对照组，饲喂低亚油酸饲粮（亚油酸含量为 0.52%），Ⅱ～Ⅵ组饲粮亚油酸水平分别为 0.72%、0.92%、1.12%、1.32%、1.52%。试验期 12 周。试验鹅由山东莱阳市五龙鹅原种繁育基地提供。

1.2 试验饲粮

基础饲粮组成及营养水平参照 NRC（1994）家禽营养需要量设计。采用小麦-豆粕型基础饲粮，检测饲料原料中亚油酸含量并根据实测值配制试验饲粮。基础饲粮中亚油酸含量为 0.52%，以 0.2%为梯度，利用玉米油、牛油和棕榈油调节饲粮中亚油酸含量。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　%

项目 Items	组别 Groups					
	I	II	III	IV	V	VI
原料 Ingredients						
小麦 Wheat	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50
豆粕 Soybean meal	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
玉米秸秆 Corn straw	12.85	12.85	12.85	12.85	12.85	12.85
牛油 Tallow	4.85	4.45	4.05	3.64	2.51	2.10
玉米油 Corn oil	0.05	0.45	0.85	1.25	1.52	1.92
棕榈油 Palm oil				0.01	0.87	0.88
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
石粉 Limestone	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys • HCl	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
微量元素 Trace elements[1)]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
多维 Multivitamin[1)]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]						
代谢能 ME/（MJ/kg）	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40
粗蛋白质 CP	16.20	16.20	16.20	16.20	16.20	16.20
粗纤维 CF	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81
钙 Ca	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
有效磷 AP	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
赖氨酸 Lys	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
蛋氨酸 Met	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
亚油酸 Linoleic acid	0.52	0.72	0.92	1.12	1.32	1.52

[1)] 多维和微量元素为每千克饲粮提供 The multivitamin and trace elements provided the following per kg of diets：VA 1 500 mg，VD_3 200 IU，VE 12.5 mg，VK_3 1.5 mg，VB_1 2.2 mg，VB_2 5.0 mg，烟酸 nicotinic acid 65 mg，泛酸 pantothenate 15 mg，VB_6 2 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，胆碱 choline 1 000 mg，Fe 85 mg，Mn 80 mg，Zn 80 mg，I 0.42 mg，Se 0.3 mg，Co 2.5 mg。

[2)] 亚油酸实测值，其余为计算值。Linoleic acid was a measured value, while the others were calculated values.

1.3 饲养管理

试验前对鹅舍进行全面消毒。全期采取舍饲，地面厚垫料分栏饲养。试验鹅自由饮水和采食，少添喂勤，注意观察鹅群的生长状况。

1.4　测定指标及方法

1.4.1　生长性能

16 周龄末，分别以重复为单位对试验鹅进行空腹称重，计算 5～16 周龄的平均日增重(ADG)；每日统计饲粮消耗量，计算平均日采食量(ADFI)和料重比(F/G)。每天记录各组死亡及淘汰情况，计算死淘率。

1.4.2　屠宰性能

16 周龄末，空腹称重，翅静脉采血后对各组试验鹅进行屠宰(共 72 只，每个重复取 2 只)；宰前禁食 12 h，按照《家禽生产性能名词术语和度量统计方法》(NY/T 823-2004)测定屠体重、半净膛重、全净膛重、腹脂重、胸肌重和腿肌重，并计算屠宰率、全净膛率、半净膛率、腹脂率、腿肌率和胸肌率 6 项屠宰性能指标。

1.4.3　肌肉品质

16 周龄末，各重复随机选择 2 只鹅，6 个组共 72 只，翅静脉采血，屠宰后采用《肉制品检测标准》(GB/T 9695.19-2008)测定肌肉品质。把整个胸肌从胸骨上剥离，取前端胸大肌作为肉样，用日本全自动色彩色差计测定胸肌肉色亮度（L^*）、红度（a^*）和黄度（b^*）值，用物性测试仪（TA-XT PLUS）测定剪切力，用便携式酸度计（HANHA-HI9025）测定 pH，用自然蒸发法（吊袋法）测滴水损失，用压力计测失水率。

1.4.4　营养消化代谢试验

14 周龄时，从各组随机抽取 6 只鹅（公母各占 1/2）移入代谢笼（专利号：200720177297）进行饲养，试验阶段预试期 4 d，禁食 1 d，正试期 3 d，自由饮水，每天分别饲喂 100 g 的试验饲粮。采用全收粪法连续收集 4 d 的排泄物。在代谢笼下放置集粪盘，每天定时收集，盐酸固氮，混合后取粪样。

待测饲料粉碎至 40 mm，低温干燥保存。粪样在 65～75 ℃烘箱中烘干，自然状态下回潮 24 h，制成风干粪样，然后用小型万能粉碎机将干粪样粉碎。总能（GE）采用氧弹法进行测定；粗蛋白质（CP）含量采用的 FOSS TECATOR QUALITY ASSUR-ANCE 设备进行检测；钙（Ca）含量采用高锰酸钾法进行测定；磷（P）含量采用 BioSpec-1610 核酸蛋白测定仪以比色法进行检测；粗纤维（CF）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）含量采用 ANKOM 公司生产的 ANKOM2000 Fiber Analyzer(NY14450)设备进行检测；粗脂肪（EE）含量采用乙醚浸提法进行测定。营养物质利用率计算公式参照文献[8]。

1.5　统计分析

采用 SPSS 17.0 软件中单因素方差分析(one-way ANOVA)中的 LSD 法进行多重比较。试

验数据以“平均值±标准差”表示。用不相关比较法(orthogonal)分析各指标随饲粮亚油酸水平的线性或曲线反应，采用曲线拟合法确定 5～16 周龄肉鹅饲粮中亚油酸的适宜水平。P<0.05 和 P<0.01 分别为差异显著和极显著水平。

2 结果与分析

2.1 饲粮亚油酸水平对鹅生长性能的影响

由表 2 可知，Ⅲ组鹅体重、ADG 显著高于对照组(P<0.05)，Ⅳ组鹅体重、ADG 极显著高于对照组(P<0.01)。Ⅲ、Ⅳ组鹅 F/G 显著低于对照组(P<0.05)，Ⅲ、Ⅳ组之间鹅 F/G 差异不显著(P>0.05)。各组之间鹅 ADFI 和死淘率差异不显著(P>0.05）。

通过二次曲线拟合和回归方程分析发现，生长性能与饲粮亚油酸水平之间的曲线拟合不具有显著性(P>0.05)。

由以上结果可知，饲粮亚油酸水平为 1.12%时，鹅获得最大体重和 ADG；饲粮亚油酸水平为 0.92%~1.12%时，鹅的 F/G 最低。从综合效益角度分析，建议获得最佳生长性能的饲粮亚油酸水平为 0.92%~1.12%。

表 2 饲粮亚油酸水平对鹅生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary linoleic acid level on growth performance of geese

组别 Groups	体重 BW/kg	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	死淘率 Mortality rate/%
Ⅰ	3.64±0.11[a]	27.38±1.03[a]	169.53±1.59	6.19±0.17[b]	0.03
Ⅱ	3.72±0.13[ab]	27.79±0.76[a]	169.32±2.66	6.09±0.11[b]	0.02
Ⅲ	3.86±0.02[bc]	29.42±0.94[bc]	170.43±1.06	5.79±0.18[a]	0.00
Ⅳ	3.96±0.06[c]	30.65±1.09[c]	171.56±1.90	5.60±0.14[a]	0.00
Ⅴ	3.78±0.12[ab]	28.55±0.26[ab]	170.07±1.58	5.95±0.07[b]	0.00
Ⅵ	3.79±0.04[ab]	27.73±0.42[a]	170.59±1.12	6.15±0.13[b]	0.01
P 值 P-value	0.014	0.003	0.666	0.001	

同列数据肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著(P>0.05)，相邻小写字母表示差异显著(P<0.05)，相间小写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same column, values with the same small or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with adjacent small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with alternate small letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2 饲粮亚油酸水平对鹅屠宰性能的影响

由表 3 可知，5~16 周龄，各亚油酸添加组屠宰率均高于对照组，其中Ⅲ、Ⅳ组屠宰率

极显著高于对照组($P<0.01$)，Ⅱ、Ⅴ、Ⅵ组显著高于对照组($P<0.05$)。Ⅳ、Ⅴ组胸肌率显著高于对照组($P<0.05$)。Ⅲ、Ⅳ组腹脂率显著或极显著低于对照组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

5～16 周龄，由于Ⅴ、Ⅵ组之间鹅屠宰率无显著差异（$P>0.05$），因此，以Ⅰ～Ⅴ组屠宰率（Y）与饲粮亚油酸水平(X)进行二次曲线拟合，建立回归方程如下：

Y=68.054+36.386X-16.613X^2 (R^2=0.765，P_Q=0.001)。

由上述曲线回归方程得出，饲粮亚油酸水平为 1.09%时屠宰率最高。从综合效益角度分析，建议获得最佳屠宰性能的饲粮亚油酸水平为 1.09%~1.12%。

表 3　饲粮亚油酸水平对鹅屠宰性能的影响

Table 3　Effects of dietary linoleic acid level on slaughter performance of geese　　%

组别 Groups	屠宰率 Dressed percentage	半净膛率 Percentage of half-eviscerated yield	全净膛率 Percentage of eviscerated yield	胸肌率 Percentage of breast muscle	腿肌率 Percentage of leg muscle	腹脂率 Percentage of abdominal fat
Ⅰ	82.51±1.45[a]	76.38±2.61	69.97±0.65	11.94±0.72[a]	12.66±0.19	2.43±0.13[c]
Ⅱ	85.44±1.25[b]	76.41±1.06	70.15±1.55	12.04±0.49[a]	12.83±0.40	2.39±0.06[bc]
Ⅲ	87.86±1.46[c]	77.72±2.25	70.26±0.21	12.52±0.15[a]	12.71±0.05	2.15±0.16[ab]
Ⅳ	87.63±1.22[c]	78.16±1.26	70.11±1.60	13.55±0.96[b]	13.03±0.16	2.05±0.12[a]
Ⅴ	87.24±1.14[bc]	78.84±0.23	71.71±0.79	13.59±0.35[b]	13.26±0.22	2.37±0.23[bc]
Ⅵ	87.16±0.56[bc]	78.40±0.76	71.63±1.42	12.88±0.25[ab]	13.34±0.56	2.44±0.152[c]
P 值 P-value	0.001	0.336	0.282	0.011	0.094	0.036

2.3　饲粮亚油酸水平对鹅肌肉品质的影响

由表 4 可知，饲粮亚油酸水平显著或极显著影响了鹅肌肉 L*值、a*值、剪切力、pH 和失水率($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。Ⅲ、Ⅳ组 L*值显著高于对照组($P<0.05$)，Ⅴ、Ⅵ组 L*值极显著高于对照组($P<0.01$)。Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ组 a*值显著高于对照组($P<0.05$)，Ⅳ组极显著高于对照组($P<0.01$)。Ⅳ组剪切力显著低于对照组($P<0.05$)。Ⅳ~Ⅵ组 pH 显著高于对照组($P<0.05$)。Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ组失水率显著低于对照组($P<0.05$)，Ⅳ组极显著低于对照组($P<0.01$)。饲粮亚油酸水平对鹅肌肉 b*值影响不显著($P>0.05$)。

以上结果表明，饲粮中添加亚油酸能改善鹅的肌肉品质。

表 4　饲粮亚油酸水平对鹅肌肉品质的影响

Table 4　Effects of dietary linoleic acid level on meat quality of geese

组别 Groups	亮度 L*	红度 a*	黄度 b*	剪切力 Shear force/kgf	pH	失水率 Water loss rate/%

Ⅰ	47.16±1.43[a]	11.97±0.41[a]	3.24±0.29	5.62±0.15[b]	5.78±0.13[a]	29.17±0.18[c]
Ⅱ	48.03±1.53[ab]	13.66±0.58[bc]	3.43±0.58	5.45±0.28[b]	5.85±0.19[a]	28.56±0.48[c]
Ⅲ	49.60±0.88[b]	13.70±0.17[bc]	3.63±0.17	5.39±0.06[b]	5.99±0.13[ab]	28.10±0.11[b]
Ⅳ	52.57±1.03[bc]	14.33±0.43[c]	3.97±0.08	5.06±0.14[a]	6.19±0.16[b]	27.37±0.97[a]
Ⅴ	53.56±1.54[c]	13.02±0.79[b]	3.77±0.21	5.48±0.11[b]	6.22±0.08[b]	27.51±0.45[b]
Ⅵ	53.43±0.13[c]	12.71±0.17[a]	3.44±0.29	5.52±0.05[b]	6.22±0.06[b]	27.97±0.60[b]
P 值 *P*-value	0.000	0.010	0.122	0.014	0.004	0.015

2.4　饲粮亚油酸水平对鹅营养物质利用率和能量利用率的影响

由表 5 可知，饲粮亚油酸水平显著或极显著影响鹅的 CP、EE、钙和磷的利用率(P<0.05 或 P<0.01)。Ⅳ组 CP、EE 和钙的利用率极显著高于对照组(P<0.01)。Ⅱ~Ⅵ组磷利用率显著高于对照组(P<0.05)。饲粮亚油酸水平对鹅 CF、NDF 和 ADF 利用率的影响不显著(P>0.05)。

表 5　饲粮亚油酸水平对鹅营养物质利用率的影响

Table 5　Effects of dietary linoleic acid level on nutrient availabilities of geese　　%

组别 Groups	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗纤维 CF	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	钙 Ca	磷 P
Ⅰ	63.17±2.81[a]	65.41±0.55[a]	18.17±0.69	54.05±2.71	35.41±1.89	42.41±1.15[a]	37.27±1.05[a]
Ⅱ	65.25±2.62[ab]	66.16±1.89[a]	18.81±0.17	55.12±2.60	36.17±0.95	44.31±0.96[ab]	40.34±1.34[b]
Ⅲ	67.44±1.02[bc]	70.26±1.31[bc]	19.63±0.54	57.14±0.91	36.36±0.57	45.66±0.45[bc]	41.49±2.29[b]
Ⅳ	68.99±1.25[c]	72.68±2.62[c]	19.80±1.66	57.69±1.04	37.38±2.11	46.80±1.24[c]	42.10±1.64[b]
Ⅴ	68.45±0.70[bc]	67.72±1.40[ab]	19.48±0.44	57.49±2.09	35.13±0.87	44.31±1.89[ab]	41.12±1.05[b]
Ⅵ	67.83±1.48[bc]	66.33±0.87[a]	19.16±0.15	26.59±1.20	36.45±0.79	45.27±1.03[bc]	41.00±1.01[b]
P 值 *P*-value	0.016	0.001	0.199	0.200	0.415	0.014	0.022

由表 6 可知，Ⅲ~Ⅵ组粪便氮排泄量显著或极显著低于对照组(P<0.05 或 P<0.01)，沉积氮和氮利用率显著或极显著高于对照组(P<0.05 或 P<0.01)。饲粮亚油酸水平对鹅食入氮的影响不显著(P>0.05)。

表 6　饲粮亚油酸水平对鹅氮利用率的影响

Table 6　Effects of dietary linoleic acid level on nitrogen availability of geese

组别 Groups	食入氮 Nitrogen intake/(g/d)	粪便氮排泄量 Nitrogen excretion from excrement/(g/d)	沉积氮 Deposit Nitrogen/(g/d)	氮利用率 Availability of nitrogen/%
Ⅰ	3.08±0.01	1.34±0.09[c]	1.94±0.09[a]	63.17±2.81[a]
Ⅱ	3.07±0.01	1.06±0.08[bc]	2.00±0.08[ab]	65.25±2.62[ab]
Ⅲ	3.08±0.01	1.00±0.03[ab]	2.07±0.04[bc]	67.44±1.02[bc]
Ⅳ	3.08±0.03	0.95±0.06[a]	2.12±0.03[c]	68.99±1.25[c]
Ⅴ	3.06±0.01	0.96±0.02[a]	2.09±0.02[bc]	68.45±0.70[bc]

Ⅵ	3.06±0.02	0.99±0.05^{ab}	2.07±0.03^{bc}	67.83±1.48^{bc}
P 值 *P*-value	0.542	0.019	0.014	0.016

由表 7 可知，各组食入 GE、粪便 GE 排泄量、内源能值、表观代谢能、真代谢能和 GE 利用率无显著差异（*P*>0.05）。

表 7　饲粮亚油酸水平对鹅能量利用率的影响

Table 7　Effects of dietary linoleic acid level on energy availability of geese

组别 Groups	食入 GE GE intake/（kJ/d）	粪便 GE 排泄量 GE excretion from excrement/（kJ/d）	内源能值 EEf/(kJ/d)	表观代谢能 AME/(kJ/d)	真代谢能 TME/(kJ/d)	GE 利用率 Availability of GE/%
Ⅰ	1 682.13±24.37	554.80±14.28	1.58±0.03	1 127.29±16.95	1 683.71±24.37	67.02±0.59
Ⅱ	1 698.63±12.73	551.18±8.62	1.59±0.02	1 147.44±19.60	1 700.22±12.75	67.55±0.69
Ⅲ	1 683.53±7.43	544.74±10.09	1.73±0.12	1 138.79±10.95	1 685.26±7.31	67.64±0.58
Ⅳ	1 680.99±19.36	546.47±14.13	1.45±0.22	1 134.52±7.90	1 682.44±19.40	68.49±0.51
Ⅴ	1 691.81±4.93	554.86±8.45	1.54±0.10	1 136.95±8.73	1 693.35±4.99	67.20±0.49
Ⅵ	1 696.48±9.79	559.96±11.64	1.51±0.05	1 136.52±16.53	1 697.99±9.77	66.99±0.74
P 值 *P*-value	0.558	0.603	0.129	0.676	0.559	0.669

3　讨　论

3.1　饲粮亚油酸水平对鹅生长性能的影响

亚油酸是最早被确认的必需脂肪酸和重要的不饱和脂肪酸，但是关于其对动物生长性能方面的研究较少，结果也并不一致。夏中生等[9]报道，在蛋鸡饲粮中添加脂肪酸饱和程度和双键位置不同的油脂，对蛋鸡的采食量、产蛋率、蛋重和体重等均无显著影响。Friedman 等[10]研究表明，PUFA 对肉仔鸡生长性能没有显著影响。Fébel 等[11]研究表明，饲粮中添加红花油、豆油、亚麻油、猪油并不影响肉鸡的生长性能。王爽等[12]研究发现，亚油酸水平分别为 0.55%、0.75%、0.95%、1.15%、1.35%、1.55%的饲粮，对产蛋初期蛋鸭产蛋性能影响不显著，但饲粮亚油酸水平为 0.95%时，产蛋率最高，蛋重及日产蛋重最大，料蛋比最低。张哲等[13]研究表明，在饲粮中添加不同水平 PUFA（0、150、250、350 mg/kg），能够提高肉鸡饲料转化率，降低料重比。本试验结果表明，5~16 周龄饲粮亚油酸水平为 0.92%~1.12%时，能显著或极显著提高五龙鹅的体重和 ADG，显著降低料重比。以上结果表明，亚油酸对鹅促进生长的作用并不是通过提高采食量来实现的，而是通过提高饲料利用率实现的。亚

油酸对各种动物生长性能的研究结果和机理有待进一步的研究。

3.2　饲粮亚油酸水平对鹅屠宰性能的影响

屠宰率是一个产肉指标，能很好地衡量产肉性能。贾汝敏等[14]认为屠宰率在 80%以上产肉性能良好。五龙鹅的屠宰率均在 80%以上，说明五龙鹅的产肉性能良好。胸肌率、胸肌率表征家禽的产肉性能，品种、饲粮、饲粮的均衡度对产肉性能都有影响。Pinchasov 等[15]研究认为 n-6 和 n-3 PUFA 对肉鸡腹脂沉积的影响无显著差异。大量研究表明，肉鸡采食含不饱和脂肪酸的饲粮比饱和脂肪酸相比，可提高肉鸡生长性能，同时减少脂肪沉积。肉鸡脂肪沉积易受饲粮油脂类型的影响，饲喂高水平 PUFA 的饲粮，肉鸡腹脂沉积减少，且随着腹脂沉积的减少，其他部位脂肪的沉积也随之减少[16-17]。Cortinas 等[18]发现增加饲粮 PUFA 含量，肉鸡皮下脂肪含量降低。王远孝等[19]对黄羽肉鸡屠宰性能的研究表明，在饲粮中添加猪油和豆油混合油脂中，猪油比例分别为 0、25%、50%、75%和 100%，各组间屠体率、半净膛率和全净膛率均无显著差异；50%组胸肌率比 75%组高 15.1%，50%组腹脂率比 100%组低 42.4%。本试验结果表明，亚油酸添加水平为 1.09%~1.12%时，能显著提高鹅的屠宰率和胸肌率，降低鹅的腹脂率。虽然各添加组对鹅的半净膛、全净膛和腿肌率影响不显著，但是相比对照组均有增加趋势。大量研究表明，PUFA 可明显降低腹脂沉积[20-22]，与本试验研究结果一致，但是关于专门研究亚油酸对五龙鹅屠宰性能的研究尚未见报道，亚油酸影响屠宰性能的机理还有待进一步研究。

3.3　饲粮亚油酸水平对鹅肌肉品质的影响

肉色是反映肌肉生理、生化和微生物学变化的综合指标，一般认为肉鸡肌肉的 L^*值>53 表示过亮；48<L^*值<53 表示正常；L^*值<46 表示黑[19]。肉色是由肌红蛋白和少量残留的血红蛋白引起的。肉色还受肌血红蛋白含量、氧化状态和表面的光线反射能力的影响[23]。本试验研究表明，当饲粮亚油酸水平为 0.72%~1.12%时，L^*值处于正常范围，在亚油酸水平超过 1.12%时，鹅肌肉 a^*值最大。这说明亚油酸可以有效改善肌肉肉色，接近人们平时的选择。

肌肉的剪切力是客观评价肌肉嫩度的主要指标之一，是衡量消费者对肌肉口感满意程度的重要指标，剪切力值愈小肉质愈细嫩，数值愈大肉质则愈粗[24]。肉的嫩度主要取决于肌肉内的肌原纤维和结缔组织，而肌内脂肪通过影响肌原纤维和结缔组织的状态和数量，改善肌肉嫩度，脂肪含量与嫩度呈正相关，当不饱和脂肪酸过多时嫩度也会减小。本试验研究结果表明，饲粮亚油酸水平在 1.12%时剪切力最小，当饲粮亚油酸水平过高时，剪切力反而会增大。因此，考虑肌肉嫩度，不适宜加过多亚油酸。

失水率是系水力的重要指标。系水力是肌肉品质的一项重要指标，它不仅影响肌肉的色、

香、味、营养成分、多汁性，嫩度等食用品质，而且有着重要的经济价值[25-26]。pH 不仅是肌肉酸度的直观表现，而且对肌肉的耐热性、烹煮损失和加工性能有直接的影响，并成为肉品质最重要的指标之一[27]。活体肌肉的 pH 比中性稍微偏高一些，为 7.2 左右，屠宰后，肌肉的 pH 下降，这是由于乳酸的生成引起的[28]。饲粮中亚油酸水平为 1.12%时，鹅肌肉失水率显著降低；饲粮中亚油酸水平超过 1.12%时，pH 的变化范围为 6.19~6.22，说明鹅肌肉的持水性较好。

3.4　饲粮亚油酸水平对鹅营养物质利用率和能量利用率的影响

油脂本身具能量高、易吸收、易于利用的特性，饲粮添加油脂后减缓了食糜的流通速度，增加了消化时间，从而改善碳水化合物和蛋白质在十二指肠的消化和吸收[29]。脂肪酸消化吸收速度与不饱和程度呈高度相关。Freeman 等[30]研究表明，不饱和脂肪酸比饱和脂肪酸更容易消化吸收。Gera 等[31]研究表明，含亚油酸丰富的玉米油比猪油脂或牛羊油脂更易被仔猪消化，断奶后周平均消化率分别为 84.2%、77.0%、75.4%。Ketels 等[32]研究表明，随着动物油脂饱和脂肪酸添加水平的提高，反而会降低它的消化率，不饱和度的脂肪酸越高则代谢能值越高。如果不饱和脂肪酸占主要地位，那么添加的不饱和脂肪酸和基础饲粮中的饱和脂肪酸之间的协同作用会影响脂肪利用率。含不饱和脂肪酸较多的植物油比含饱和脂肪酸多的动物油能量损失要少，相应的其代谢能高于动物油。Alao 等[33]试验结果表明，含不饱和脂肪酸较多的植物油比含饱和脂肪酸多的动物油粪能损失要少，相应的其代谢能高于动物油。研究证实，PUFA 和长链饱和脂肪酸互作会影响其能值，会产生额外的代谢能，称为协同作用[34]，协同作用会影响脂肪利用率。钙吸收量取决于食物中钙的存在形式以及饮食中抑制及促进吸收的因素，饲粮中添加长链的饱和脂肪酸会限制钙的吸收[35]。有研究表明，花生四烯酸、油酸和亚油酸可刺激肌网释放钙，但在钙离子（Ca^{2+}）富集前加进脂肪酸，则会抑制钙的吸收[36]。饱和脂肪酸可与钙形成不溶性皂类物质（钙皂）而影响钙的吸收。本试验研究表明，当亚油酸水平为 0.92%~1.12%时，能显著提高鹅的 CP、EE、钙和磷的利用率，降低粪便氮，提高沉积氮和氮利用率，这与前人研究结果基本一致。以上结果说明，亚油酸作为必需脂肪酸具有促进养分吸收的作用，能有效加速动物生长，提高营养物质利用率。

4　结　论

①饲粮中适宜的亚油酸水平能够显著提高鹅的体重、ADG、屠宰率和胸肌率，降低 F/G、腹脂率。

②饲粮中适宜的亚油酸水平能够显著提高鹅肌肉L^*值和a^*值，降低剪切力和失水率。

③饲粮中适宜的亚油酸水平能够显著提高CP、EE、钙和磷的利用率，提高沉积氮和氮

利用率，降低粪便氮排泄量。

④建议5～16周龄肉鹅饲粮亚油酸水平为0.92%~1.12%。

参考文献：

[1] 陈萍.饲粮中脂肪类型和水平对生长肉兔生长发育、营养物质利用及肉质的影响[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2004:33–37.

[2] 鲍建民.多不饱和脂肪酸的生理功能及安全性[J].中国食物与营养,2006(1):45–46.

[3] BALNAVE D.Essential fatty acids in poultry nutrition[J].World’s Poultry Science Journal,1970,26(1):442–460.

[4] WATKINS B A.Importance of essential fatty acids and their derivatives in poultry[J].The Journal of Nutrition,1991,121(9):1475–1485.

[5] MENGE H.Further studies on the linoleic acid requirement of the hen using purified and practical type diets[J].Poultry Science,1970,49(4):1027–1030.

[6] 王宝维,张丽英,单虎,等.红花籽油对蛋鸡部分生化性状的影响[J].中国家禽,1997(5):13–15.

[7] NRC.Nutrient requirements of poultry[S].9th ed.Washington,D.C.:National Academy Press,1994.

[8] 杨凤.动物营养学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2000.

[9] 夏中生,陈继新,谢梅冬,等.饲粮油脂对蛋鸡生产性能、血清脂质含量和蛋黄脂肪酸组成的影响[J].广西农业生物科学,2003,22(3):171–177.

[10] FRIEDMAN J M,HALAAS J L.Leptin and the regulation of body weight in mammals[J].Nature,1998,395(6704):763–770.

[11] FÉBEL H,MÉZES M,PÁLFY T,et al.Effect of dietary fatty acid pattern on growth,body fat composition and antioxidant parameters in broilers[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2008,92(3):369–376.

[12] 王爽,陈伟,阮栋,等.饲粮亚油酸水平对产蛋初期蛋鸭产蛋性能、蛋品质及脂类代谢的影响[J].动物营养学报,2015,27(3):731–739.

[13] 张哲,张青青,王杰,等.多不饱和脂肪酸对肉鸡生产性能的影响[J].山东畜牧兽医,2010,31(4):24–25.

[14] 贾汝敏,姚晶宁,黄毓青,等.海大香鸡不同品系屠宰性能与肉质性状的比较[C]//第十一次全国家禽学术讨论会论文集.青岛:中国畜牧兽医学会,2003:158.

[15] PINCHASOV Y,NIR I.Effect of dietary polyunsaturated fatty acid concentration on performance,fat deposition,and carcass fatty acid composition in broiler chickens[J].Poultry

Science,1992,71(9):1504–1512.

[16] FERRINI G,BAUCELLS M D,ESTEVE-GARCÍA E,et al.Dietary polyunsaturated fat reduces skin fat as well as abdominal fat in broiler chickens[J].Poultry Science,2008,87(3):528–535.

[17] VILLAVERDE C,BAUCELLS M D,CORTINAS L,et al.Effects of dietary concentration and degree of polyunsaturation of dietary fat on endogenous synthesis and deposition of fatty acids in chickens[J].British Poultry Science,2006,47(2):173–179.

[18] CORTINAS L,BARROETA A,VILLAVERDE C,et al.Influence of the dietary polyunsaturation level on chicken meat quality:lipid oxidation[J].Poultry Science,2005,84(1):48–55.

[19] 王远孝,黄雪新,张莉莉,等.混合油脂对黄羽肉鸡生产性能、屠宰性能和肌肉抗氧化特性的影响[J].江苏农业学报,2010,26(4):766–771.

[20] TANAKA K,AN B K,BANNO C,et al.Effects of dietary fat sources on lipid metabolism in growing chicks (*Gallus domesticus*)[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,1997,116(1):119–125.

[21] 牛淑玲,刘静波,高宏伟,等.限制饲喂方法对 AA 肉鸡生产性能及胴体品质的影响[J].中国畜牧杂志,1999,35(2):27–28.

[22] RICHARDS M P,CAPERNA T J,ELSASSER T H,et al.Design and application of a polyclonal peptide antiserum for the universal detection of leptin protein[J].Journal of Biochemical and Biophysical Methods,2000,45(2):147–156.

[23] LOW A G.Secretory response of the pig gut to non-starch polysaccha rides[J].Animal Feed Science and Technology,1989,23(1/2/3):55–65.

[24] 马传兴,王宝维,葛文华,等.铁对 5~16 周龄五龙鹅生长性能、屠宰性能、肉品质和营养物质利用率的影响[J].动物营养学报,2015,27(11):3420–3428.

[25] 吴信生,陈国宏,陈宽维,等.中国部分地方鸡种肌肉组织学特点及其肉品质的比较研究[J].江苏农学院学报,1998,19(4):52–58.

[26] 王剑飞.日粮中不饱和脂肪酸比例(n-6/n-3)对鹅产肉性能和肉品风味影响规律的研究[D].硕士学位论文.扬州:扬州大学,2011:28–29.

[27] 高巧仙,宋代军,靳露.饲粮 n-6/n-3 多不饱和脂肪酸比例对畜禽健康和产品品质的影响[J].动物营养学报,2013,25(7):1429–1436.

[28] 胡忠泽,丁紫香,刘雷.单味中草药添加剂对肉鸡肉质的影响[J].当代畜牧,2009(4):29–31.

[29] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J].Journal of Dairy Science,1991,74(10):3583–3597.

[30] FREEMAN C P.The digestion,absorption and transport of fat-non-ruminants[M]//WISEMAN J.Fats in animal nutrition.London:Butterworths,1984:105–122.

[31] GERA K R,MAHAN D C,REINHART G A.Effects of dietary dried whey and corn oil on weanling pig performance,fat digestibility and nitrogen utilization[J].Journal of Animal Science,1988,66(6):1438–1445.

[32] KETELS E,HUYGHEBAERT G,DE GROOTE G.The nutritional value of commercial fat blends in briler diets[J].Arch Geflugelkd,1989,51:59–64.

[33] ALAO S J,BALNAVE D.Growth and carcass composition of broilers fed sunflower oil and olive oil[J].British Poultry Science,1984,25(2):209–219.

[34] WU F C,CHEN H Y.Effects of dietary linolenic acid to linoleic acid ratio on growth,tissue fatty acid profile and immune response of the juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*[J].Aquaculture,2012,324-325:111–117.

[35] WELDON K A,WHELAN J.Allometric scaling of dietary linoleic acid on changes in tissue arachidonic acid using human equivalent diets in mice[J].Nutrition & Metabolism,2011,8:43.

[36] RAES K,HAAK L,BALCAEN A,et al.Effect of linseed feeding at similar linoleic acid levels on the fatty acid com position of double-muscled Belgian Blue young bulls[J].Meat Science,2004,66(2):307–315.

Linoleic Acid on Growth Performance, Slaughter Performance, Meat Quality and Nutrient Availabilities of Meat Geese Aged from 5 to 16 Weeks[i]

ZHANG Yangyang WANG Baowei* GE Wenhua ZHANG Mingai YUE Bin ZHENG Huiwen REN Min ZHANG Zenan

(*Nutrition and Feed Laboratory of China Agriculture Research System Qingdao, Institute of High Quality Waterfowl, Qingdao Agricultural University, Qingdao* 266109, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of linoleic acid on growth performance, slaughter performance, meat quality and nutrient availability of meat geese aged from 5 to 16 weeks, and to find the appropriate dietary linoleic acid level. A total of 360

five-week-old *Wulong* geese were randomly divided into 6 groups with 6 replicates per group and 10 geese per replicate (half male and half female). Geese in 6 groups (groups I to Ⅵ, group I was the control group) were fed diets which dietary linoleic acid levels were 0.52%, 0.72%, 0.92%, 1.12%, 1.32% and 1.52%, respectively. The experiment lasted for 12 weeks. The results showed as follows: 1) compared with the control group, the body weight and average daily gain (ADG) in groups III and IV were significantly increased (*P*<0.05 or *P*<0.01), the ratio of feed to gain (F/G) was significantly decreased (*P*<0.05). 2) Using unrelated comparative analysis method, when the dietary linoleic acid level was 1.09%, the dressed percentage reached the highest. The percentage of breast muscle in groups Ⅳ and Ⅴ was significantly higher than that in control group (*P*<0.05), and the percentage of abdominal fat in groups III and IV was significantly lower than that in control group (*P*<0.05 or *P*<0.01). 3) The lightness (L^*) value in groups Ⅲ to Ⅵ was significantly higher than that in control group (*P*<0.05 or *P*<0.01). The redness (a^*) value in group Ⅳ was significantly higher than that in control group (*P*<0.01), while the water loss rate and the shear force were significantly lower than those in control group (*P*<0.05 or *P*<0.01). The pH in groups Ⅳ to Ⅵ was significantly higher than that in control group (*P*<0.05). 4) The availability of crude protein, ether extract and calcium in group Ⅵ was significantly higher than that in control group (*P*<0.01). The phosphorus availability in groups II to VI was significantly higher than that in control group (*P*<0.05). The nitrogen excretion from excrement in groups Ⅲ to VI was significantly lower than that in control group (*P*<0.01), while the deposit nitrogen and availability of nitrogen were significantly higher than those in control group (*P*<0.05). In conclusion, dietary linoleic acid at appropriate level can promote the growth performance, slaughter performance, meat quality and nutrient availability, and reduce the percentage of abdominal fat of meat geese aged from 5 to 16 weeks. The optimal level of linoleic acid in diets of geese aged from 5 to 16 weeks is 0.92% to 1.12%.

Key words: linoleic acid; geese; growth performance; slaughter performance; meat quality; nutrient availability

---

*Corresponding author, professor, E-mail: wangbw@qau.edu.cn

（责任编辑 武海龙）